



Technical Note

Applications of MARS Regression for Estimating Bed Loads Case study: Basins of Khorasan Razavi Province, Iran

H. Rezaee-Pazhand^{1*} and M. Janfada²

Abstract

The conventional methods for estimating the suspended load in rivers are using the sample of debit-sediment and fit them into exponential patterns, power model, neural networks, or frequency distribution table. In high flood flows these models cannot be extrapolated and their estimations are unrealistic. This is due to the bounded water power to carry suspended load (physical properties). Multivariate Adaptive Regression Spline (MARS) model are proposed in this paper to pass this limitation. MARS is a piecewise linear spline model that has better performance in extrapolations. The MARS exponential and power models were fitted on debit-sediment data of 23 stations khorasan razavi province in this article. The results were compared in two modes of interpolation and extrapolation and base on statistical and physical criteria. Statistical criteria models included the R^2_{adj} , sum of squares error (SSE), generalized cross validation (GCV), and diagnostic residual. The physical criteria included realistic estimation of the sediment in two modes of interpolation and extrapolation. The results showed the superiority of MARS model to other practices.

Keywords: MARS model, Power model, Exponential model, Extrapolation, Statistical criteria, Physical criteria.

Received: July 28, 2012

Accepted: February 20, 2013

یادداشت فنی

کاربرد رگرسیون مارس در برآورد بارمعلق مطالعه موردی: حوضه‌های آبریز خراسان رضوی

حجت رضائی پزند^{۱*} و مجید جانفدا^۲

چکیده

رسوب (بارمعلق و کف) مواد جامدی است که توسط آب رودخانه جابه‌جا می‌شود. روش مرسوم تخمین بارمعلق، استفاده از نمونه دبی- رسوب و برازش الگوهای نمائی، توانی، شبکه عصبی یا تنظیم جدول توزیع فراوانی است. این الگوها در برون‌یابی دبی‌های سیلابی خوب عمل نکرده و برآوردهای غیرواقعی می‌دهند. زیرا توان حمل بارمعلق توسط آب رودخانه کراندار است (خاصیت فیزیکی). الگوی رگرسیونی کمانک تطبیقی چند متغیره (مارس) برای حل این مشکل در این مقاله پیشنهاد می‌شود. مارس یک الگوی تکه‌ای خطی کمانکی است که در برون‌یابی عملکرد بهتری دارد. الگوهای مارس، نمایی و توانی در این مقاله بر آمار دبی- رسوب ۲۳ ایستگاه استان خراسان رضوی برازش داده شد. نتایج در دو حالت درون‌یابی و برون‌یابی و با معیارهای آماری و فیزیکی مقایسه شدند. معیارهای آماری الگو شامل: ضریب تعیین پیراسته (R^2_{adj})، مجموع مربعات خطا (SSE)، اعتبارمقابل تعمیم‌یافته (GCV)، آسیب‌شناسی خطاها و معیار فیزیکی شامل: منطقی بودن برآورد رسوب در دو حالت درون‌یابی و برون‌یابی است. نتایج بررسی‌ها نشان از برتری الگوی مارس (به ویژه در برون‌یابی) نسبت به دو الگوی دیگر دارد.

کلمات کلیدی: الگوی مارس، الگوی توانی، الگوی نمایی، برون‌یابی، معیار آماری، معیار فیزیکی.

تاریخ دریافت مقاله: ۷ مرداد ۱۳۹۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۲ اسفند ۱۳۹۱

1- M.Sc. in Hydrology, Azad Islamic University, Mashhad, Iran. Email: hrpazhand@yahoo.com

2- M.Sc. in Statistics, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran.

*- Corresponding Author

۱- کارشناس ارشد هیدرولوژی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مشهد، ایران.

۲- کارشناس ارشد آمار، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران.

*- نویسنده مسئول

بارمعلق بخش مهم از رسوب است که توسط آب رودخانه جابه‌جا می‌شود. بarmعلق به دلیل اثرات منفی بر ظرفیت مخازن سدها، تغییر در مورفولوژی رودخانه، تخریب خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و کاهش توان تولیدی اراضی کشاورزی اهمیت زیادی دارد (تلوری و همکاران، ۱۳۸۶). روش‌های مرسوم تخمین بarmعلق تحلیل نمونه‌های برداشتی با جدول توزیع فراوانی، منحنی توانی (منحنی سنجه)، برازش چشمی، شبکه عصبی، رگرسیون تکه‌ای است (آرشیو سازمان مدیریت منابع آب، ۱۳۸۹، Sarangi et al., 2005). بار معلق از دیدگاه مهندسی (فیزیکی) کراندار است. زیرا توان حمل آب محدود است و نمی‌تواند از یک حداقل و حداکثری پیشی گیرد. شیب منحنی رسوب در دبی‌های عادی کم و در سیلاب‌ها زیاد و تقریباً از یک منحنی S شکل پیروی می‌کند. این رفتار از دیدگاه آماری نشان از وجود یک توزیع آمیخته است (Freedman, 2009, Weisberg, 2005). بنابراین باید الگوئی برای این رفتار را تعیین کرد. نمونه‌ها اغلب از دبی‌های عادی و سیلاب‌های کوچک برداشت و الگوهای رایج بر این نقاط برازش داده می‌شوند. سیلاب‌های بزرگ نیز در حوضه رخ می‌دهد و نمونه رسوب آنها اغلب در اختیار نیست. آنها سهم مهمی در تخمین رسوب سالانه حوضه دارند. این سیلاب‌ها از دیدگاه آماری به داده پرت معروفاند (Barnet and Lewis, 1994). بنابراین الگوی برازشی باید بarmعلق نقاط پرت را نیز به خوبی برون یابی کند. لذا عملکرد الگوی برازشی به دو حالت درون یابی (دامنه دبی‌های نمونه) و برون یابی (خارج داده‌های نمونه) تقسیم می‌شود. الگوهای نمایی، توانی و شبکه عصبی اغلب برازش خوبی بر داده‌های نمونه (درون یابی) دارند. اما معمولاً در برون یابی خوب عمل نمی‌کنند. زیرا نیکویی برازش آن‌ها مربوط به دامنه داده‌هاست (درون یابی) نه در برون یابی (Sheather, 2009). برآورد بار معلق با شبکه عصبی نیز انجام و برتری آن بر روش منحنی سنجه تأیید شده است (آوریده و همکاران ۱۳۸۰ و فتاحی و همکاران ۱۳۸۵). می‌توان بار معلق را با منحنی‌های تکه‌ای نیز برآورد کرد. این برآورد می‌تواند دقت تخمین را افزایش دهد. روش تکه‌ای رفتار داده‌های رسوب را با توزیع‌های آمیخته الگوبندی می‌کند (Ryan et al., 2002). الگوی مارس نسخه پیشرفته روش تکه‌ای خطی است که از توابع آینه‌ای به نام چوب هاکی استفاده می‌کند (Friedman 1991, Hastie et al., 2009).

هدف و نوآوری این مقاله الگوبندی نمونه‌های بarmعلق (دبی-رسوب) ۳۳ حوضه‌های آبریز خراسان رضوی با الگوی کمانک تطبیقی چند متغیره (با نردبان تبدیل) و مقایسه آن با الگوهای نمایی و توانی در

۲- مواد و روش‌ها

۱-۲- منطقه مورد مطالعه و داده‌ها

منطقه مورد مطالعه رسوب ۳۰ حوضه آبریز استان خراسان رضوی است. این استان در شمال شرق ایران به مساحت ۱۲۸،۴۲۰ کیلومتر مربع و محدود به طول و عرض جغرافیایی ۲۷°۵۵' تا ۱۵°۶۱' و ۲۴°۳۰' تا ۱۷°۳۸' درجه است. داده‌ها بarmعلق این ایستگاه‌ها است. غربال داده‌ها نشان داد که تنها ۲۳ ایستگاه آمار رسوب مناسب دارند (آرشیو شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، ۱۳۸۹).

۲-۲- رگرسیون کمانکی تطبیقی چندمتغیره MARS

(Friedman 1991) الگوی کمانکی تطبیقی چندمتغیره رگرسیونی^۲ (مارس) را معرفی کرد که تعمیمی از رگرسیون خطی گام‌به‌گام یا شکل اصلاح شده درخت رگرسیون^۳ است (Hastie et al., 2009). بنیان ریاضی مارس مطابق زیر است. مارس یک متغیره مقادیر متغیر پاسخ (Y) را با الگویی خاص بنام توابع پایه (توابع آینه‌ای یا چوب هاکی) از روی متغیر پیشگوی X برآورد می‌کند (رابطه ۱).

$$h_1(x) = (x-t)_+ = \begin{cases} x-t & x > t \\ 0 & x \leq t \end{cases} \quad (1)$$

$$h_2(x) = (t-x)_+ = \begin{cases} t-x & x < t \\ 0 & x \geq t \end{cases}$$

t ثابت گره و نماد "+" به معنای بخش مثبت است. گره t در عمل یکی از مشاهدات متغیر X است. دو تابع $h_1(x)$ و $h_2(x)$ هر یک به تنهایی تابع چوب هاکی و هر دو با هم زوج منعکس یافته^۴ در گره t هستند (شکل ۱).

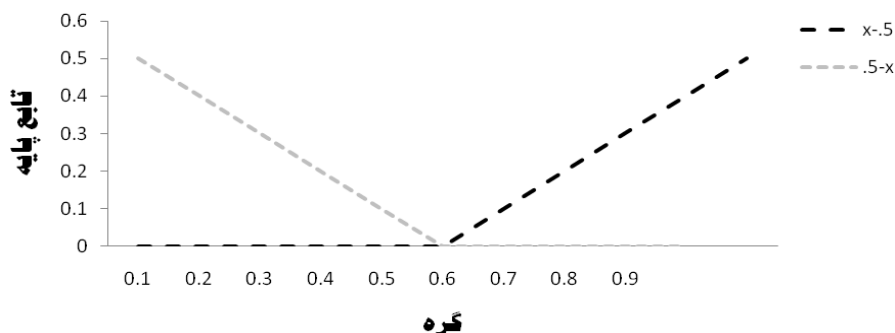
مجموعه C (رابطه ۲) را تمامی زوج توابع منعکس یافته در نظر می‌گیریم که $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ مقادیر مشاهده‌ای X هستند.

$$C = \{(X-t)_+, (t-X)_+\} \quad \forall t \in \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \quad (2)$$

ساختار کلی الگوی رگرسیون یک متغیره مارس برای برآورد Y مطابق رابطه (۳) است که h_i یکی از توابع مجموعه C است.

$$Y = f_{2m}(x) = b_0 + \sum_{i=1}^{2m} b_i h_i(X) \quad (3)$$

ضرائب $\{b_0, b_1, \dots, b_{2m}\}$ با کمینه‌سازی مجموع مربعات خطا برآورد می‌شوند. مارس سه مرحله دارد. ۱) آرایش (ایجاد الگوی اولیه به روش پیش‌رو)، ۲) پیرایش (اصلاح الگوی اولیه) و ۳) گزینش



شکل ۱- نمودار تابع پایه در نقطه $t=0/5$

مربوط به نمونه‌های رسوب بسیار کمتر از دبی‌های سیلابی رخ داده در حوضه‌ها است. درون‌یابی دو الگوی نمایی و توانی در اغلب ایستگاه‌ها برآورد معقولی دارند (جدول ۱ و ۲). اما برآوردهای این دو الگو در برون‌یابی، اعداد بسیار بزرگ و غیرمنطقی است (جدول ۲). به‌گونه‌ای که حجم رسوب یک سیلاب در برون‌یابی اغلب حوضه‌های فوق از حجم سیلاب بیشتر است. لذا این الگوها در اغلب ایستگاه‌ها به علت رفتار نامناسب فیزیکی رد شده‌اند. چون شرح تمام مراحل برای کلیه ایستگاه‌ها پر حجم است. لذا ایستگاه دهنه‌شور به عنوان نمونه انتخاب و روال الگوبندی و مقایسه آن در ادامه ارائه شده است.

تحلیل الگوبندی ایستگاه دهنه‌شور: نمونه‌های بارمعلق در بازه ۱۳۶۰ تا ۱۳۸۳ در اختیار است. قسمتی از این داده‌ها در جدول ۲ آمده است. الگوهای مارس با تبدیلات نزدیانی، نمایی و توانی بر داده‌ها برازش (جدول ۲) و نتایج آماری و فیزیکی آنها مطابق زیر است.

الگوی نمایی: ضریب تعیین $0/47$ ، مقدار احتمال^۷ الگو^{۱۲} $9/3 \times 10^{-12}$ ، رفتار باقیمانده‌ها مناسب، اما در درون‌یابی خوب عمل نمی‌کند (جدول ۲). برای مثال رسوب مشاهده‌ای و برآوردی در دبی $7/6$ متر مکعب بر ثانیه به ترتیب 32423 و 321315 است.

الگوی توانی (لگاریتمی): ضریب تعیین $0/76$ ، مقدار احتمال الگو^{۱۶} $2/2 \times 10^{-16}$ و رفتار باقیمانده‌ها مناسب، اما در برون‌یابی خوب عمل نمی‌کند (جدول ۲). مثلاً رسوب برآوردی در دبی 20 متر مکعب بر ثانیه $3,930,000,000$ تن بر روز است.

الگوهای مارس: الگوهای مختلف مارس با نزدیانی تبدیل برداده‌ها برازش تا الگوهای بیشتری به دست آید. بازه مطلوب تبدیل $[0, 1/5]$ است (جدول ۲). ملاحظات فیزیکی و آماری تبدیل $y^{0/5}$ را ترجیح داد. الگوی نهایی یک گره‌ای در نقطه $1/27$ و ضریب تعیین اصلاح شده $RSS=95/5$ و $GCV=1/5$ ، $R^2_{adj}=0/76$ است (جدول

انتخاب الگوی بهینه) تشکیل می‌شود (Friedman, 1991). الگوهای مختلفی در مراحل آرایش و پیرایش براساس توابع پایه بر داده‌ها برازش و SSE اندازه‌گیری می‌شود. الگوی نهایی در مرحله گزینش و با کمترین مقدار معیار اعتبار متقابل تعمیم یافته^۵ $GCV_j = (SSE_j) \div (1 - \frac{vm_j}{n})$ (با $j=1,2,\dots,2n-2$) انتخاب می‌شود. m_j تعداد توابع پایه در الگوی j ، SSE_j مجموع مربعات خطای الگوی j ، v پارامتر هموارسازی و n حجم نمونه است.

۳-۲- تبدیلات رگرسیونی و نرم افزار

نردبان تبدیل روشی برای تبدیل متغیرها به منظور تثبیت واریانس خطا و تقویت الگوهای رگرسیونی است. این تبدیل اغلب در بازه $[2$ و $-2]$ انجام می‌شود (Weisberg, 2005, Sheather, 2009). نرم‌افزار "R.2.11.1"، برنامه نویسی و بسته‌های نرم‌افزاری earth، plotrix، plotmo و mda در تحلیل رگرسیون مارس استفاده شده است (www.r-project.org).

۳- تجزیه و تحلیل داده‌ها

داده‌های بار معلق ۲۳ ایستگاه آب‌سنجی حوضه آبریز استان خراسان رضوی پس از غربال انتخاب شدند (جدول ۱). الگوهای رگرسیونی توانی، نمایی و مارس (با نزدیانی تبدیل) بر داده‌های دبی- رسوب آنها برازش داده شد. الگوی انتخابی از دو دیدگاه فیزیکی و آماری تحلیل شد. تحلیل آماری با معیارهای: ضریب تعیین تعدیل یافته (R^2_{adj}) ، مجموع مربعات خطا^۸ (SSE)، اعتبار متقابل تعمیم یافته (GCV) و آسیب‌شناسی خطاها (پایای واریانس، شناسایی داده‌پرت و نرمال بودن خطاها) انجام گرفت (جدول ۱). کراندار بودن توان حمل بارمعلق در آب رودخانه در دو حالت درون‌یابی و برون‌یابی معیار تحلیل فیزیکی است (جدول ۲).

در جدول ۲: رسوب، x: دبی، h: تابع آیینی‌های، RSS: مجموع مربعات باقی مانده‌ها است. آمار دبی روزانه حوضه‌ها نشان داد که دبی‌های

جدول ۱- مشخصات آماری الگوهای رگرسیون مارس ایستگاه‌های آب‌سنجی استان خراسان رضوی

R^2_{adj}	RSS	GCV	تعداد گره	الگوی مارس انتخابی	ایستگاه
۰/۸۵	۲۶۸۸/۵	۸/۹	۱	$\log(\hat{y}) = 3/681 + 0/053 \times h(x - 0/05)$	آق دربند
۰/۹۵۷	۱۶۶۰۱۵۸	۲۸۲۹۲	۲	$y^{0/7} = 165 + 546/7 \times h(x - 6/84) - 24/19 \times h(6/84 - x) - 255/33 \times h(x - 7/98)$	اندراب
۰/۸۷۸	۵۵۹۳۸/۴	۶۹۶/۸	۲	$y^{0/7} = 2/65 + 31/91 \times h(x - 0/555) - 54/95 \times h(x - 1/739)$	ارچنگان
۰/۶۰۴	۳۴۹۶۷۴	۲۵۶۸	۱	$y^{0/7} = 39/59 + 228/2 \times h(x - 1/987) - 19/04 \times h(1/987 - x)$	بردو
۰/۷۴۱	۶۶۰۵۲/۹	۴۰۷/۴	۱	$y^{0/5} = 28/17 + 21/015 \times h(x - 1/8) - 15/72 \times h(1/8 - x)$	چهچه
۰/۴۶۲	۲۵۳۸۴/۶	۴۰۲/۱	۱	$y^{0/7} = 3/79 + 34/6 \times h(x - 1/58)$	چشمه علی
۰/۷۶۲	۹۵/۵	۱/۵	۱	$y^{0/5} = 14/35 + 17/01 \times h(x - 1/27) - 9/44 \times h(1/27 - x)$	دهنه شور
۰/۹۵۱	۳۴۶/۸	۲۴/۰	۱	$y^{0/3} = 3/69 + 0/85 \times h(x - 0/005)$	دواب
۰/۷۴۲	۶۷/۰	۱/۱	۲	$y^{0/3} = 3/6 + 9/03 \times h(x - 1/283) - 8/34 \times h(1/487 - x) - 1/78 \times h(1/487 - x)$	دولت آباد
۰/۹۶۵	۴۰۷۳۵/۱	۳۵۰/۶	۱	$y^{0/5} = 32/74 + 22/24 \times h(x - 3/32) - 10/1 \times h(3/32 - x)$	قره تیکان
۰/۸۱۹	۲۶۷۴۸/۸	۷۵۲/۳	۲	$y^{0/5} = 75/21 + 17/97 \times h(x - 1/71) - 18/31 \times h(3/55 - x)$	گلخندان
۰/۶۵۸	۱۷۶/۵	۳/۹	۲	$\log(\hat{y}) = 2/35 - 11/77 \times h(0/322 - x) + 2/08 \times h(x - 0/753)$	گلمکان
۰/۶۲۶	۲۰۵۱۹۶	۶۹۹/۷	۴	$y^{0/5} = 7/33 + 17/15 \times h(x - 2/564) - 25/55 \times h(x - 6/239) + 58/56 \times h(x - 8/241) - 32/99 \times h(x - 9/807)$	حاتم قلعه
۰/۹۴۴	۹۷۵۹۱/۱	۱۰۰۴	۱	$y^{0/5} = 9/26 + 8/05 \times h(x - 5/29) - 6/88 \times h(5/29 - x)$	حسین آباد
۰/۷۳۹	۱۴۲۳۲/۶	۱۰۲/۲	۲	$y^{0/5} = 44/56 - 15/33 \times h(x - 2/18) + 45/63 \times h(x - 3/05) - 14/72 \times h(3/05 - x)$	کلاته رحمان
۰/۸۰۶	۱۵۴۶۹/۲	۸۴/۵	۱	$y^{0/5} = 9/31 + 32/86 \times h(x - 2/303) - 3/43 \times h(2/303 - x)$	محمدتقی بیگ
۰/۸۶۵	۸۸۳/۸	۵/۰	۲	$y^{0/5} = 14/14 - 2/38 \times h(x - 3/88) + 7/63 \times h(x - 8/392) - 1/56 \times h(8/392 - x)$	موشنگ
۰/۸۶۱	۲۵۰۱/۸	۲۳/۱	۱	$y^{0/5} = 269/48 + 6/04 \times h(x - 22/67) - 11/92 \times h(22/67 - x)$	النک اسدی
۰/۸۴۹	۱۶۴۲۴/۲	۳۰۲/۰	۱	$y^{0/5} = 41/05 + 18/43 \times h(x - 0/72) - 60/92 \times h(0/72 - x)$	روح آباد
۰/۸۱	۱۶۶/۹	۱/۷	۱	$\log(\hat{y}) = 11/29 + 0/012 \times h(x - 170) - 0/045 \times h(170 - x)$	سنگرد
۰/۶۶۴	۷۰۳۹/۱	۴۴/۵	۱	$y^{0/5} = 24/74 + 13/59 \times h(x - 5/29) - 4/47 \times h(5/29 - x)$	صنوبر
۰/۶۸۳	۵۵۵۲/۴	۷۶/۵	۲	$y^{0/5} = 22/5 - 32/74 \times h(x - 2/82) - 57/99 \times h(x - 3/44) - 9/19 \times h(3/44 - x)$	طاقون
۰/۹۶۱	۸۴۸۵/۱	۵۵۰	۱	$y^{0/5} = 3/33 + 23/58 \times h(x - 0/15)$	تروسک

نتایج نشان داد که هر سه الگو عملکرد مناسبی در درون‌یابی دارند. اما دو الگوی نمایی و توانی اعداد بسیار بزرگ و غیرمنطقی در برون‌یابی می‌دهند. به‌گونه‌ای که حجم رسوب یک سیلاب اغلب حوضه‌های فوق در برون‌یابی از حجم آب سیلاب بیشتر است. داده‌های ایستگاه دهنه شور برای نمونه در جدول ۲ آمده است.

لذا دو الگوی فوق به علت رفتار نامعقول فیزیکی در برون‌یابی در تمام ایستگاه‌ها رد شد. تحلیل بارمعلق ایستگاه‌ها نشان داد که الگوی تکه‌ای مارس در مقایسه با الگوهای رایج در درون‌یابی و برون‌یابی بارمعلق عملکرد فیزیکی و آماری مناسبتری دارند. جدول ۲ برتری الگوی مارس را به‌عنوان نمونه در ایستگاه دهنه شور نشان می‌دهد.

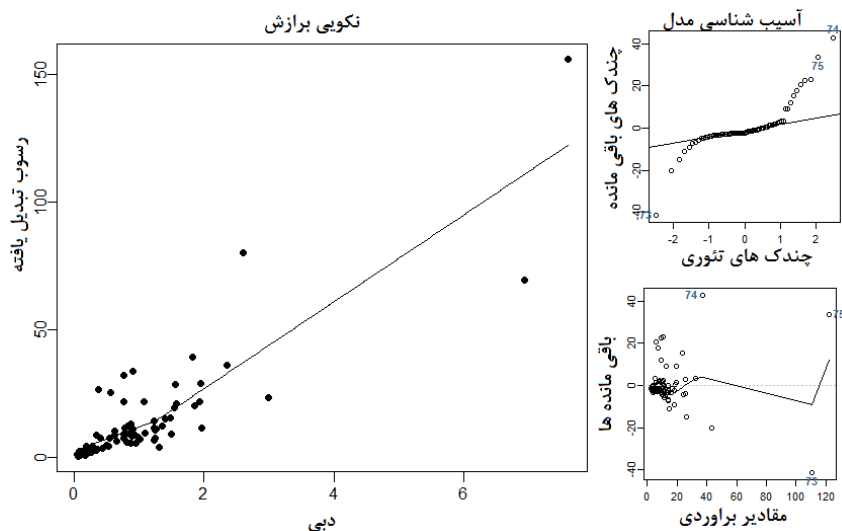
۱). رسوب‌های برآوردی با الگوهای مختلف مارس در حالات درون‌یابی و برون‌یابی در جدول ۲ مقایسه شده‌اند. مثلاً رسوب برآوردی برای دبی‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۵۰۰ مترمکعب برثانیه در تبدیل $y^{0/5}$ به ترتیب ۷۱۱۰۰۰، $7/11 \times 10^5$ و $7/32 \times 10^7$ تن در روز است. رفتار باقیمانده‌ها و الگوی ترسیمی در شکل ۲ آمده است.

۴- نتیجه‌گیری

هدف این مقاله برآزش و مقایسه الگوی مارس (با نردبان تبدیل) با روش‌های مرسوم برآورد بارمعلق (الگوهای نمایی و توانی) است. این الگوها بر داده‌های رسوب ۲۳ ایستگاه آب‌سنجی ایستگاه‌های استان خراسان رضوی برآزش داده شد. تحلیل بارمعلق ایستگاه‌های مختلف با دو معیار فیزیکی و آماری انجام شد.

جدول ۲- درون یابی و برون یابی بارمعلق با استفاده از الگوهای نمایی، توانی و الگوی مارس تبدیل (نردبانی) یافته ایستگاه دهنه شور

رسوب برآوردی (تن بر روز) با نردبان تبدیل رگرسیون مارس								رگرسیون توانی و نمایی		داده های مشاهده ای	
$y^{./15}$	$y^{./12}$	y	$y^{./7}$	$y^{./5}$	$y^{./2}$	$y^{./1}$	Log(y)	Exp(y)	Log(y)	رسوب ton/day	دبی (m3/s)
-∞	-∞	۱۰۵/۲۱	۱۱۱/۹۳	۷/۸۲	-/۵۸	-/۶۸	۰/۷۷	۱۵/۵۱	۰/۳۵	۱/۳۳	۰/۰۵
-∞	-∞	۱۰۵/۲۱	۱۱۱/۹۳	۵۴/۱۳	۷۷/۰۸	۸۳/۱۲	۸۷/۱۶	۲۹/۲۹	۳۸/۴۳	۱۸/۷۳	۰/۵۳
-∞	-∞	۱۰۵/۲۱	۱۱۱/۹۳	۱۴۳/۶۲	۱۴۵/۰۳	۱۳۶/۷۶	۱۳۰/۱۹	۵۵/۸۲	۱۳۷/۱۴	۵۰/۸۵	۱/۰۲
۴۱۷۲/۲۲	۲۹۰۲/۷	۲۱۰۴/۲۵	۱۲۱۴/۰۹	۱۰۷۰/۳۳	۵۸۶/۳۹	۴۷۱/۹۲	۳۸۶/۸	۳۲۱/۲۱	۶۹۳/۶۱	۱۲۹۳	۲/۳۵
۱۶۸۸۵/۵۵	۱۶۱۶۷/۹۲	۱۵۷۳۴/۱	۱۵۳۱۶/۳۲	۱۴۸۸۸/۶۵	۱۷۰۵۸/۹۸	۲۰۷۴۷/۶	۲۸۴۶۴/۴۶	۳۲۱۳۱۵	۶۷۵۴/۱۱	۲۴۲۲۳	۷/۶
۳۵۶۸۱/۹۶	۴۱۰۷۲/۹	۴۷۹۶۶/۵	۷۲۳۳۰	$۱/۱۱ \times 10^5$	$۷/۹۹ \times 10^5$	$۵/۴۰ \times 10^6$	$۷/۳۰ \times 10^8$	$۴۴۰۹۷/۶$	$۳/۹۲ \times 10^{12}$		۲۰
۶۸۰۱۵/۶	۹۱۹۱۴/۱	۱۲۵۸۱۱/۳	۲۸۳۲۰۸/۱	$۷/۱۱ \times 10^5$	$۵/۱۲ \times 10^۷$	$۶/۴۸ \times 10^9$	۲۴×10^{1۳}	$۲۶۰۶۵۴/۵$	$۵/۴۵ \times 10^{2۶}$		۵۰
۱۰۹۱۶۵/۹	۱۶۶۰۰/۱۷	۲۵۵۶۱۹/۴	۷۷۶۶۲/۱	$۲/۸۷ \times 10^6$	$۱/۴۱ \times 10^9$	۲۹۹×10^{1۰}	۲۰۴×10^{20}	۹۹۹۵۳۱	$۲/۰۴ \times 10^{5۸}$		۱۰۰
۱۷۴۲۳۶/۸	۱۹۷۷۶۳/۵	۵۱۵۲۳۵/۵	۲۱۰۹۹۷۶	$۱/۱۵ \times 10^۷$	۴۱۹×10^8	۲×10^{1۰}	۷۳۹×10^{۲۰}	۳۸۳۲۸۹۷	$۲/۸۵ \times 10^{110}$		۲۰۰
۲۲۸۷۲۷/۷	۴۱۸۳۸۴/۸	۷۷۴۵۱/۷	۱۷۷۷۱۵۷	$۲/۶ \times 10^۷$	۳۱×10^9	۹۹۸×10^{1۳}	۲۶۷×10^{16}	۸۴۱۳۷۱۶	$۳/۹۸ \times 10^{11۷}$		۳۰۰
۳۲۱۹۹۱/۲	۶۴۱۵۳۰/۶	۱۲۹۴۰۸۴	۷۸۵۵۱۱۵	$۷/۲۲ \times 10^۷$	$۳/۹۱ \times 10^{12}$	$۱/۴۷ \times 10^{19}$	$۳/۴۹ \times 10^{۲۹}$	۲۲۶۵۵۶۹۸	$۷/۷۸ \times 10^{12۶}$		۵۰۰



شکل ۲- نمودارهای نکویی برازش و آسیب شناسی الگوی مارس انتخابی دهنه شور

۵- مراجع لذا کاربرد رگرسیون مارس با نردبان تبدیل برای الگوی بندی بارمعلق توصیه می شود.

آرشیو سازمان مدیریت منابع آب وزارت نیرو، ۱۳۸۹.

آرشیو شرکت آب منطقه ای خراسان رضوی، ۱۳۸۹.

پی نوشت ها

آوریده ف، بنی حبیب م ا، و طاهرشمسی ا (۱۳۸۰) کاربرد شبکه های عصبی مصنوعی جهت تخمین دبی رسوب رودخانه ها. سومین کنفرانس هیدرولیک، دانشگاه تهران: ۲۶۹-۲۷۵.

تلوری ع، بیرویدیان ن، منوچهری ا (۱۳۸۶) مدل سازی تغییرات زمانی رسوب مطالعه موردی حوزه آبریز گاران در کردستان. فصلنامه پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، شماره ۷۵: ۶۴-۷۰.

- 1- Mixtures distribution
- 2- Multivariate Adaptive Regression Spline
- 3-Regression Tree
- 4-Reflected Pair
- 5-Generalized Cross Validation
- 6-Sum of Square Error
- 7-Probability value

- prediction. Second Edition. Springer Series in Statistics: 736.
- Ryan SE, Porth L, Troendle CA (2002) Defining phase of bedload transport using piecewise regression. *Earth Surf. Process, Landforms*, 27: 971-999.
- Sarangi A, Bhatta Charya AK (2005) Comparison of artificial neural network and regression models for sediment loss predication from Banha watershed in India. *J. Agricultural Water Management*. 78:195-208.
- Sheather S J (2009) A modern approach to regression with R, Springer Texts in Statistics: 214.
- Weisberg S (2005) Applied linear regression, John Wiley & Sons.
- فتاحی م، طوسی س، ضیاء تبار احمدی م (۱۳۸۵) تخمین میزان رسوب رودخانه نکا به روش شبکه عصبی مصنوعی. هفتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، اهواز، دانشگاه شهید چمران، ۲۶۱-۲۵۳.
- Barnet V, Lewis T (1994) Outliers in statistical data. John Wiley & Sons.
- Freedman D A (2009) Statistical models: Theory and practice, Cambridge University Press:256p.
- Friedman JH (1991) Multivariate adaptive regression splines, *J. Annals of Statistics*, 19: 1-141.
- Hastie T, Tibshirani R, Freidman J (2009) The element of statistical learning data mining, inference, and